A8　オシロスコープ

本実験題目については、教科書ではなく、このプリントに従って実験を行う。
このプリントの項目 3.6 を必ず解いてから検印を受けること。

1.　目的

オシロスコープの原理、その基本的な操作方法を学ぶ。電圧、周期、周波数、位相につての測定方法を習得する。また実験を通して、交流回路の基礎についても学ぶ。

2.　原理

アナログ式オシロスコープについては、教科書 P.46 を参照する。

本実験では、ディジタルストレージオシロスコープ（以下 DSO）を使用する。DSO は、単発的に起きる現象や非常に低い周波数の信号の測定ができ、また地磁気に影響を受けず、これはアナログ式には無い利点である。DSO は AD(Analog Digital）変換された信号を記憶装置に保存する。ディジタル信号は様々な演算加工を行うことができ、DSO の利便性は更に広がる。例えば、フーリエ変換（FFT； Fast Fourier Transformation)、実行値、平均値などが瞬時に計算され、表示される。　図 2.1 に DSO の信号の流れを示す。

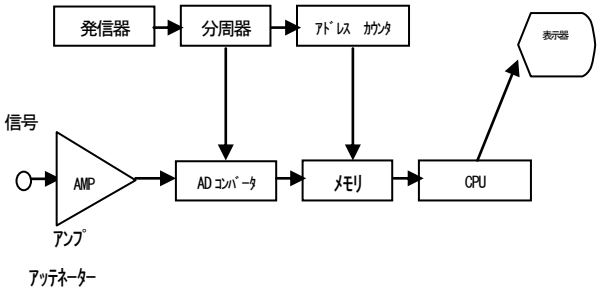

図 2.1　ディジタルストレージオシロスコープの信号の流れ

3.　実験

以下の説明を読み、DSO と発信器の基本操作方法を理解する。なお、次のアドレスで、使用する DSO の取扱説明書を見ることができる。

http://bj.base.ibaraki.ac.jp/pdf/DCS9500_MANUAL.pdf

3.1　DSO の簡単な説明

DSO の後部面を図に示す。

[主電源]

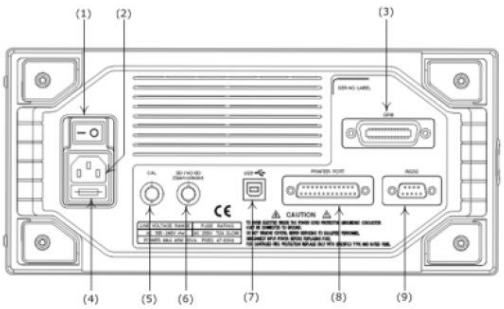

図 3.1　背面

起動するときは(1)を ON とする。

[AC 電源インレット]

電源コードを(2)に接続する。

次に、前面部を図に示す。パネルの各領域に割り当てられている機能は次の通り。

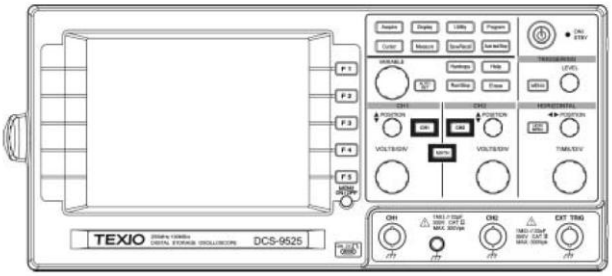

図 3.2　前面パネル

[トリガコントロール]

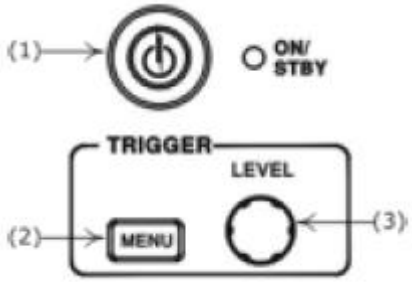

図 3.3

(1)：[ON/STBY]　電源の ON/OFF。
(3)：[LEVEL]　トリガレベルを調整する。もし、図形の表示が安定しない場合、調節する。

[垂直コントロール]

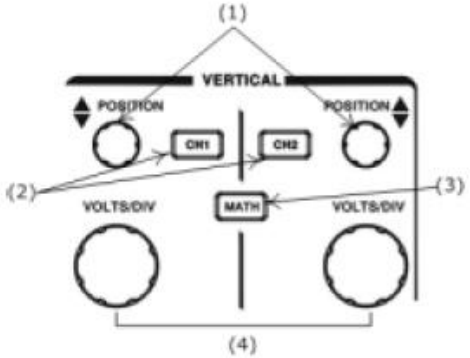

図 3.4

(1)：[POSITION]　チャンネル 1 およびチャンネル 2 の波形の垂直位置を調整する。

(2)：[CH1]　チャンネル 1 の波形の表示を ON/OFF できる。CH1 を押すと、画面右側にメニューが表れる。[F4]ボタンを数回押して、Probe の倍率を×1 に選択しておく（CH2 についても同様）。

(4)：[VOLTS/DIV]　波形の垂直感度を調整する。

［水平コントロール］

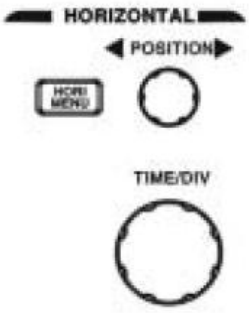

図 3.5

［POSITION］　波形の水平位置を調整する。
［TIME/DIV］　選択した波形の水平スケールを調整する。

［その他のコントロール］

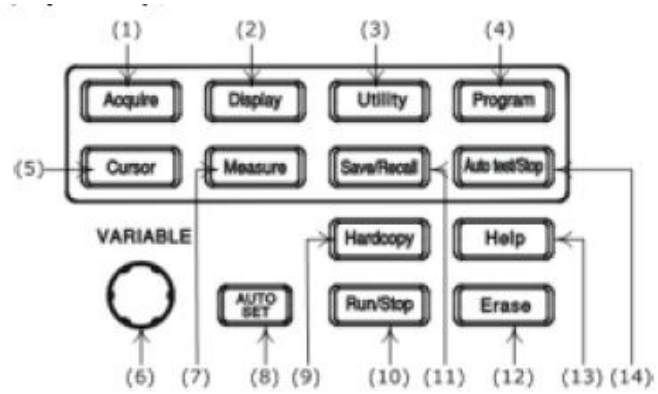

図 3.6

(2)：［Display］画面でグリッド表示などを変える。
(6)：［VARIABLE］各メニューで、値を変える。
(7)：［Measure］　15 種類の自動測定にアクセスする。
(8)：［AUTOSET］　自動的に最適な測定レンジに切り替える。観測波形を画面に程良く収める。
(13)：［Help］　ヘルプ画面を表示する。

［BNC 入力］

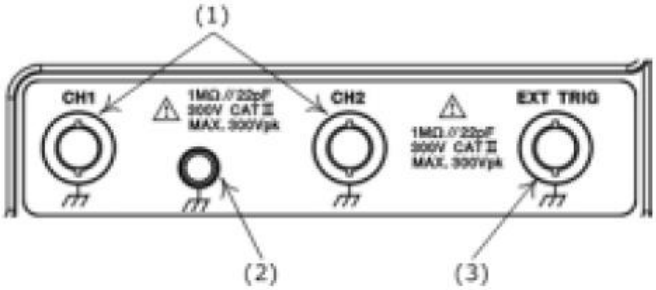

図 3.7

(1) ：［CH1 (CH2)］　チャンネル 1 (2) の BNC 入力端子。
(2)：［GND］　グランド (GND)。

［表示エリア］

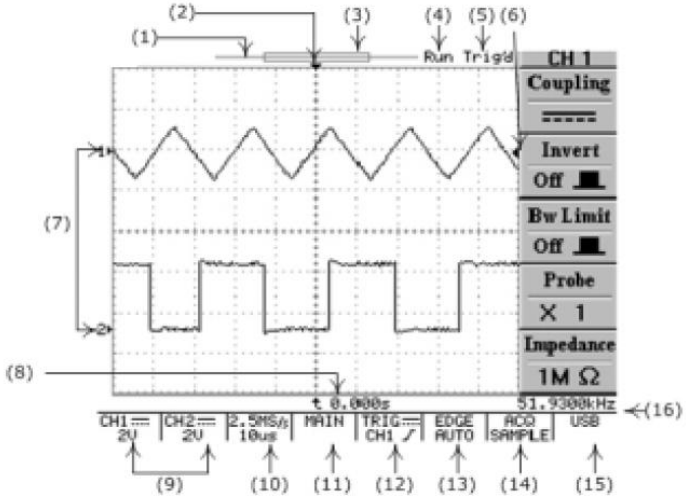

図 3.8

(1)：［メモリバー］　DSOに記録されたデータの領域。
(2)：［トリガ位置］
(3)：［ 表示可能エリア］　画面に表示されている領域。
(5)：［トリガステータス］
(6)：［トリガレベルインジケータ］
(7)：［チャンネル位置インジケータ］
(9)：［チャンネル1 および2 のステータス表示］
(10)：［ サンプルレートステータス指示］
(16)：［トリガ周波数カウンタ］

3.2　発信器の簡単な説明

発信器（OSCILLATOR、以下 OSL）は、一言で言うと、交流電圧発生装置である。発信機の前面パネル部およびノブやスイッチについての説明を、図および表に示す。

電圧は 2 つの OUTPUT 端子［9］と［10］から出力される。正弦波と矩形波（くけいは）の 2 種類の波形を、また、周波数の範囲は数 Hz から 1MHz の範囲で、出力できる。

表 3.1　発信器の前面パネル部についての説明

番　号	名　　称	機　　能
[1]	POWER	電源スイッチの ON-OFF を行う。
[2]	PILOT LAMP	動作表示灯。
[3], [4]	FREQUENCY	周波数の設定を行う。
[5]	RANGE	周波数レンジの設定を行う。
[6]	WAVE FORM	出力波形の選択を行う。
[7]	ATTENUATOR	減衰器、実験では 0dB の位置で使用する。
[8]	AMPLITUDE	出力電圧の調整を行う。
[9] [10] (GND)	OUTPUT	出力端子。[9]と［10］から電圧の出力が得られる。

図 3.9　発信器のパネル部（AG-204D）

3.3　電圧、周期および周波数の調べ方

（項目 3.3 では、データを記録しなくてよい。）

DSO を使って、発信器から出力される電圧の大きさ、周期や周波数の調べ方を学ぶ。

1）　初めに、計測の準備を行う。OSL の AMPLITUDE[8]がゼロであること（ノブが反時計方向に回しきっていること）を確認する。　図 3.10 のとおり、DSO の CH1 と OSL の OUTPUT（出力）端子を接続する。次に、DSO の[ON/STBY]（図 3.3(1)）を ON にする。

2）　[ATTENUATOR][7]を 0dB にする。POWER[1]を ON にする。WAVE FORM[6]を正弦波、周波数は 100Hz とする。AMPLITUDE[8]を時計方向に最大に回して、発信器の出力を最大にする。

3）　DSO の[Measure]（図 3.6(7)）を押す。次に、画面の右側にある[F1]キーを数回押し、周波数を選択する（図 3.11 の右上の丸で囲まれたところ）。F2 から F5 のそれぞれについては、周期、p-p 値、最大値、実行値を選択する（図 3.11、画面右側の表示のようにする）。次に、[AUTOSET]（図 3.6(8)）を押すと、波形が表示される。

4）　ここで、画面に表示された波形から電圧や周期の読み取り方法を学ぶ。図 3.11 (A) にチャンネル 1 の縦 1 DIV（DIV;　ディビジョンと呼ぶ 1 メモリの長さ）当たりの電圧の大きさが、また、図 3.11 (B) にチャンネル 1 の横 1 DIV 当たりの時間が表示されている。 y 方向と x 方向の[POSITION]（図 3.4、3.5）を調節して、図 3.12 の LT と LV に対応する長さを DIV 単位で読むと、次の計算で電圧 V_{pp} と周期 T を求められる。

T ＝4 DIV × 2.5 ms/DIV ＝ 10 ms

V_{pp} ＝ 6.6 DIV × 5 V/DIV ＝ 33 V

5）　次に、自動的に電圧や周期を計測する方法を学ぶ。チャンネル 1 の上下[POSITION]（図 3.4）を調節して、[チャンネル位置インジケータ]を X 軸に合わせる（図 3.11 の左端の丸で囲まれたところのように合わせる）。次に、[Measure]（図 3.6(7)）を押と、画面の右側に、各種の計測値が表示される。

V_{pp} は電圧波形の山と谷の間の電圧である。pp は、ピーク to ピーク（peak to peak）を意味する。

正弦波電圧 v を次式で表現する。

$v = v_{max} \sin(\omega t + \theta)$

V_{max} は v_{pp} の 1/2、つまり、電圧の最大値を意味する。

v_{rms} は電圧の実効値であり、その定義は次のとおり。

v の式で、ω は角周波数、 t は時間、 θ は初期位相とする。実効値とは、root mean square の演算※を施した値であり、交流の大きさを扱う上で、実用上、広く使われている（多くの交流用計器の目盛は実効値で表示されている）。v_{rms} と v_{max} との間には次の関係がある。

$v_{rms} = k \times v_{max}$

ここで k は波形で決まる定数であり、正弦波の場合は $k = 1/\sqrt{2}$、矩形波の場合は k=1 である。k は実行値の定義式を計算することによって求めることができる。従って、波形が異なれば、当然 k も異なってくる。

※実効値の定義

周期を T、電圧の瞬時値を v とすれば v_{rms} は次式で定義される。

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2 dt}$$

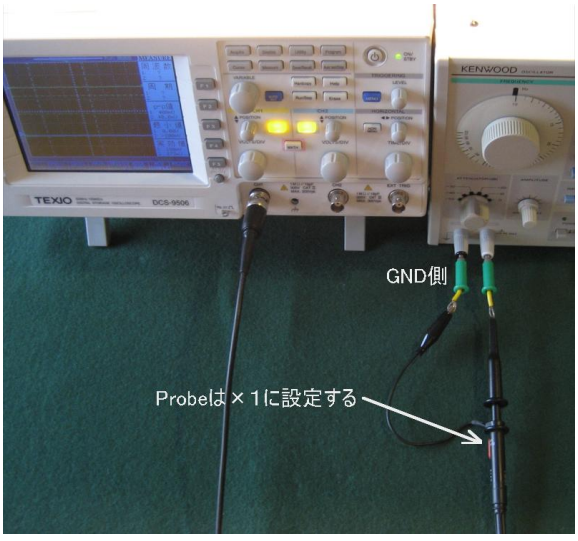

図 3.10

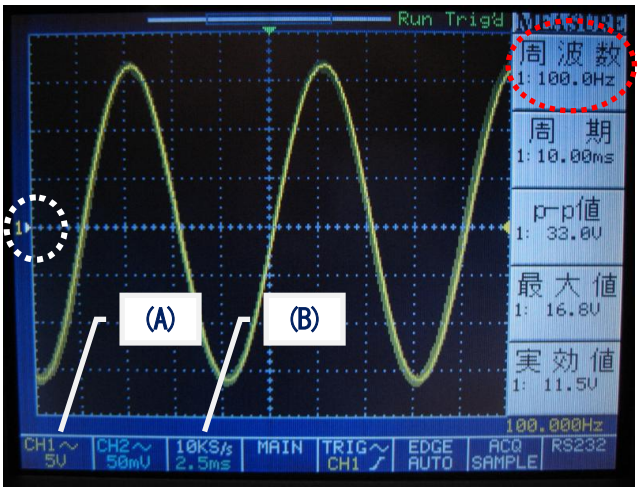

図 3.11

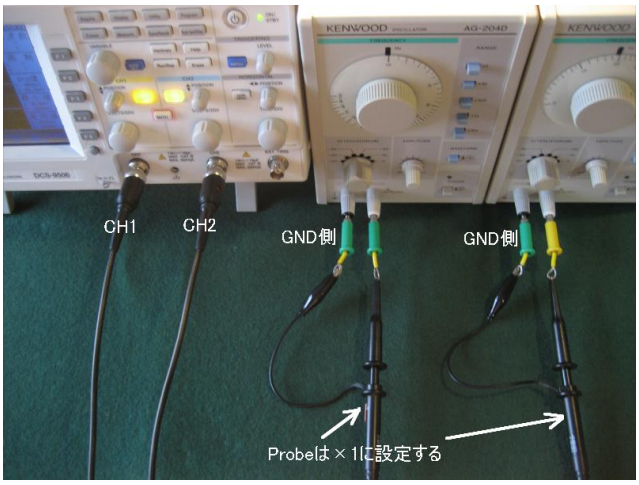

図 1.13

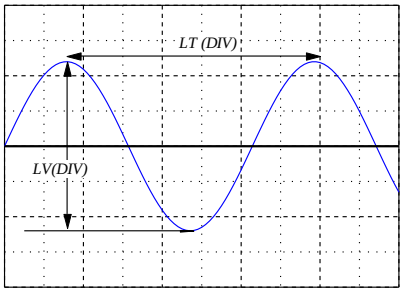

図 3.12

3.4　リサージュ図形の観測

DSO の x 方向と y 方向に正弦波をそれぞれ加え、両者の合成波であるリサージュ図形を観測する。信号の周波数比の違いによるリサージュ図形の変化の様子を調べる。

1）　表 3.2 のとおり、2 台の発信器（OSL）を設定する。図 3.13 のとおり接続する。

2）　2 台の OSL の AMPLITUDE[8]を時計方向に回し、最大出力とする。

3）　[AUTOSET]（図 3.6(8)）を押す。次に、DSO の[HORI MENU]（図 3.5）を押す。画面の右側にメニューが出るので、その中で、表示「XY」の右側の[F5]キーを押して、XY の機能を選択する。

4）　リサージュ図形が現れたら、[POSITION]（図 3.4(1)）を調節して、リサージュ図形が中央に来るように調節する。もし、リサージュ図形が描かれない、或いは静止しなければ、周波数を微調整する。

5）　ω_1＝100Hz（ω_1：チャンネル 1 のω）とし、ω_1：ω_2の比をそれぞれ 1：1、1:2、1:3、2:3 とした時の、リサージュ図形の変化の様子を適当な時間間隔で記録する。測定表の例を表 3.3 に示す。（教科書 P.50 を参考にする）

表 3.2　2 台の発信器の設定

番　号	名　　称	状　態
[1]	POWER	ON
[3], [4]	FREQUENCY	10
[5]	RANGE	×10
[6]	WAVE FORM	sin
[7]	ATTENUATOR	0　dB
[8]	AMPLITUDE	反時計方向に回しきる（出力ゼロ）

表 3.3

経過 / $\omega_1:\omega_2$	①	②	③	④	⑤
1:1					
1:2					
1:3					
2:3					

3.5　CR 回路における位相差の測定

ここではコンデンサ Cと抵抗 Rの直列回路に、正弦波交流電圧を加え、Cと Rの両端の電圧 V_{CR}および Rの両端の電圧 V_Rの位相差を利用して、リサージュ図形を描く。図形から求めた位相差と計算から求めた位相差が一致することを確認する。

0）　交流回路の原理は教科書 P.128、「交流インピーダンス」に詳細が書いてある。ここでは簡単に CR 回路について説明する。

コンデンサの両端にかかる電圧 V_Cは V_Rと位相がπ／2 ずれている（図 3.14（左））。V_{CR} と V_R との位相差は次の関係から得られる。

$$\tan\theta = V_C \ ／ \ V_R$$

電圧のベクトルはインピーダンスのベクトルに置き換えられる（図 3.14(右)）ので、

$$\tan\theta = XC \ ／ \ R$$

ここで、周波数を fとすると、$XC = 1／(2\pi fC)$。また、インピーダンス Zは、$Z = (R^2 + XC^2)^{1/2}$　。

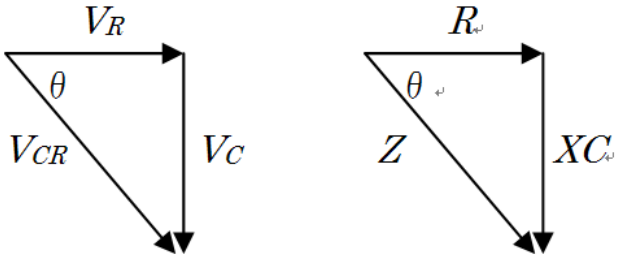

図 3.14

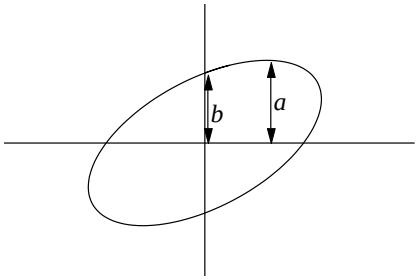

図 3.16

1） OSL の AMPLITUDE[8]がゼロであること（ノブが反時計方向に回しきっていること）を確認する。 図 3.15(b)のとおり接続する。つまり、チャンネル 1 に V_{CR}、チャンネル 2 に V_Rを入力する（図 3.15 (a)）。f＝1KHz とする。OSL の[8]を最大にする。[AUTOSET]（図 3.6(8)）を押す。

2） DSO の[HORI MENU]（図 3.5）を押す。画面の右側にメニューが出るので、その中で、表示「XY」の右側の[F5]キーを押して、XY の機能を選択する。

3） リサージュ図形が現れたら、 [POSITION] （図 3.4(1)）を調節して、リサージュ図形が中央に来るように調節する。

4） 図 3.16 の a、bに対応する長さをそれぞれ測定し、$\sin\theta = b/a$の関係から、V_{CR}と V_Rの位相差を求める（表 3.4）。また、Rと Cの値から位相差を求める （表 3.5）。両者の位相差が一致か否かを確認する。（Cと R の値は数%の誤差があり、また、経年変化の影響が存在する。）

表 3.4 測定表

a	b	θ (deg)

表 3.5 計算表

R（KΩ）	C（μF）	XC（KΩ）	θ (deg)
10	0.01		

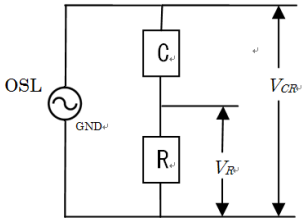

図 3.15(a)

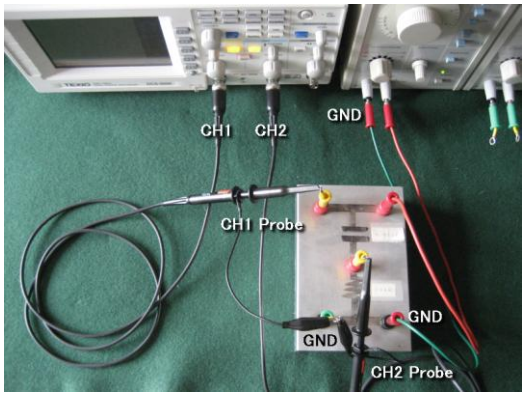

図 3.15(b)

3.6 合成波形の作図

ここでは、紙と鉛筆で、リサージュ図形などの作図を行い、オシロスコープの動作原理に対する理解を深める。

教科書 P.49 の図 A8―4(a)、(b)のそれぞれについて、X（t）と Y（t）を合成した軌道（X, Y）をグラフ用紙に描く。図には縦軸に $Y(t)$を、横軸に $X(t)$を併せて示す。

また X（t）、Y（t）および（X, Y）には時間経過（X（t）の 1/8 周期）毎に、①―⑨などの時間経過が分かる記号を併記する。ただし(b)については Yに対する Xの初期位相を 0 と $\pi/4$ の 2 つの場合について作図せよ。

表 3.6 合成波形

図 A8―4(a)について

$X(t)$	合成波
$Y(t)$	

図 A8―4(b)について

$X(t)$	合成波
$Y(t)$	

（注意）図 A8―4(b)については２つ描くこと。

この実験題目で解くべき課題は教科書 P.49 の課題 3 である。